

O USO DA TÉCNICA DO NÚCLEO PERDIDO NA FERRAMENTARIA RÁPIDA COM ESTEREOLITOGRAFIA

Marcelo Vandresen

Aureo Campos Ferreira

Carlos Henrique Ahrens

Universidade Federal de Santa Catarina; Departamento de Engenharia Mecânica – CIMJECT / PAT; Caixa Postal 476 – CEP 88040-900 – Florianópolis – SC – Brasil;

<http://www.cimject.ufsc.br>; E-mail: marcelo.vandresen@cimject.ufsc.br; telefone: +55(48) 331-9387 Ramal 223; Fax: +55(48) 234-1519.

Resumo

Peças injetadas em plástico que requeiram movimentação relativa das partes dos moldes para sua extração, como por exemplo a saída do núcleo da peça para que o molde possa ser aberto, ainda apresentam dificuldades para serem obtidas através dos processos da ferramentaria rápida, auxiliada pela fabricação camada a camada. Para solucionar este problema, uma adaptação da tecnologia desenvolvida para a fabricação de coletores de admissão pode ser uma alternativa, permitindo assim obter peças injetadas com paredes finas e formato complexo, principalmente em relação ao seu núcleo, contando com boa repetibilidade e precisão dimensional. O trabalho apresenta uma pesquisa científica, em curso a nível de Doutorado, que está desenvolvendo a fabricação rápida de lotes de peças com reentrâncias, sem o uso de movimentos relativos de componentes do molde para a extração .

Palavras-chave: Estereolitografia, Ferramentaria Rápida, Núcleo Perdido.

1. Introdução

A moldagem por injeção representa o processo mais importante para a manufatura de peças plásticas (Pötsch & Michaeli, 1995). Ela é aplicável para produção em massa de produtos, já que a matéria prima bruta pode ser convertida em produto acabado em uma única etapa, na maioria dos casos sem necessitar de uma operação de acabamento.

Estima-se que 25% de todos os termoplásticos que são transformados o são através do processo de injeção, que permite uma grande gama de produtos, com pesos variando desde 5 gramas até 85 quilogramas (Belofsky, 1995).

No processo de injeção podem ser destacados três elementos principais: o material, a máquina injetora e o molde de injeção. Cada qual tem características especiais que vão influenciar no processo de obtenção da peça.

A máquina injetora tem dois componentes principais, a unidade de fechamento, responsável pela movimentação das metades do molde e a unidade injetora, responsável pela plastificação e injeção do material na cavidade.

De maneira geral uma característica marcante do processo de injeção é que as máquinas injetoras podem ser utilizadas para a fabricação de diversas peças, dentro de uma certa faixa de capacidade; enquanto que o molde só é capaz de dar forma ao produto para o qual foi projetado. O molde é, portanto, um produto único (“*one of a kind*”), merecendo uma atenção especial já que tem uma relação direta com o produto e a capacidade produtiva daquele componente que se deseja obter.

Contudo apesar de ser um processo largamente difundido a injeção de peças plásticas ainda conta com uma grande parcela de empirismo e intuição quando da fabricação dos moldes.

O molde de injeção tem como funções principais distribuir o material fundido nas cavidades, dar a forma final ao produto moldado, resfriar o material fundido até a sua solidificação e por fim ejetar a peça. Como funções secundárias, resistir às forças envolvidas no processo de injeção, transmitir movimentos e guiar as partes móveis do molde.

Para cada geometria específica do produto que se quer moldar será necessário encontrar uma solução construtiva para que a peça possa ser injetada e, principalmente, extraída do molde.

A complexidade do molde é diretamente proporcional à complexidade da peça. Pode-se dizer que a família de peças mais simples e mais comuns para ser injetada é a das peças geradas pela revolução de um contorno simples, como é o caso dos baldes e de tantos outros recipientes de uso doméstico, assim como suas tampas, que são injetados utilizando moldes de duas placas (apenas uma linha de partição e duas metades, uma macho e uma fêmea).

Peças mais complexas requerem, para sua extração do molde, movimentos relativos de partes que compõe a cavidade para que a peça possa ser extraída do molde de forma a manter a sua integridade. Muitos projetos de produtos tem de ser modificados para evitar que se necessite de um molde muito complexo, pois isto eleva os custos de projeto, de execução e de manutenção do mesmo.

2. O processo do núcleo perdido

Muitas peças não podem ser moldadas por injeção em moldes convencionais. Isso se aplica principalmente para peças com rebaixos complicados ou corpos finos tridimensionais, como coletores de ar para motores de combustão interna. Nestes casos o uso de moldes onde o macho simplesmente sai do interior da peça não é possível (<http://www.coretechgroup.com/ct.html> em 30/06/1999).

O processo do núcleo perdido, conhecido por “*lost-core*”, “*fusible core*” (http://scud.scu.edu/cmdoc/dg_doc/process/molding em 30/06/1999) ou ainda “*metal core technology*” é uma técnica de moldagem por injeção especial utilizada na produção de peças ocas de paredes finas (“*hollow*”), como é mostrado na Figura 1. Consiste do posicionamento de um núcleo metálico, obtido por fundição, no interior de um molde de injeção, e encapsulação deste núcleo com plástico, usando um processo normal de injeção. Remoção da liga através de um processo de fusão, deixando uma fina capa plástica, como produto final. Operações secundárias como a colocação de insertos, soldagem por ultra-som ou vibração, podem ainda ser realizadas na peça. Recuperada, a liga metálica líquida, do processo de fusão da extração do núcleo é bombeada (injetada) na ferramenta de moldagem do núcleo (essencialmente uma operação de fundição) para fabricar um novo núcleo metálico.

Este processo produtivo é utilizado quase que exclusivamente na fabricação de coletores de admissão de ar injetados em termoplásticos. O alto capital investido em uma planta totalmente automatizada para o processo do núcleo perdido para a fabricação de coletores de admissão é estimada na faixa de 5 a 10 milhões de dólares, dependendo basicamente na complexidade da peça.

Requisitos de alto volume de produção podem justificar o gasto deste capital elevado. Devido à alta integração do sistema e uso extensivo de automatização, é difícil fabricar

múltiplas partes em uma dada célula, pois isto implica em grandes tempos de preparação das máquinas e recursos.

Os núcleos são formados via processo muito similar ao da fundição por injeção, em uma máquina utilizando moldes de aço. O metal é normalmente uma liga metálica de estanho e bismuto e tem um ponto de fusão de cerca de 140° C. Os núcleos ou são fabricados como uma peça única ou são feitos de múltiplos componentes que são unidos posteriormente.

Como os núcleos, no caso de coletores de admissão, são muito pesados (chegam a pesar até 80 quilogramas), e saem quentes do molde de fundição, devem ser manipulados por robôs (<http://spinwheels.com/factour.html> em 30/06/1999). O ciclo total para produzir um núcleo leva tipicamente o dobro do tempo do processo de injeção da peça. Sendo assim duas ferramentas para produzir núcleos são necessárias para cada molde de injeção.

Existe muito pouco ou nenhum encolhimento na liga, assim a temperatura do núcleo tem pouca ou nenhuma influência significativa no processo, mas a possibilidade da existência de alguma rebarba pode requerer remoção manual em uma estação de inspeção.

Na moldagem por injeção, devido à relevância do tempo do ciclo utilizado para o carregamento do núcleo e retirada da peça, muitas máquinas injetoras, utilizadas no processo do núcleo perdido, são verticais, utilizando moldes com duas metades inferiores em uma placa rotativa e uma única metade, fixa na placa móvel. As metades inferiores rotacionam 180° em cada ciclo para permitir a remoção da peça e a colocação do núcleo.

O método de injeção vertical tem algumas vantagens: a gravidade auxilia no posicionamento do núcleo e há mais espaço para a movimentação dos braços dos robôs. Como desvantagens tem-se que existem poucos fornecedores de máquinas injetoras capazes de fabricar grandes injetoras verticais com placa rotativa na faixa acima de 600 toneladas de força de fechamento. O custo das máquinas é significativamente maior se comparado com máquinas horizontais de mesma capacidade. Segundo Baltus (1999), da DuPont Canada, são necessárias duas máquinas horizontais para igualar a produtividade de uma única máquina vertical, produzindo com a metodologia do núcleo perdido.

Na fabricação de coletores de admissão de ar para motores de combustão interna utilizando o núcleo perdido, o material plástico normalmente utilizado é o Nylon 6/6 reforçado com carga de fibra de vidro a uma taxa de 30 a 35%. Mesmo ignorando as qualidades que este material tem para a fabricação de coletores de admissão, suas características de processamento fazem com que seja o mais propício para a tecnologia do núcleo perdido.

A baixa viscosidade da resina permite o preenchimento de seções finas e compridas com pressão de injeção relativamente baixa, o que ajuda a prevenir, ou ao menos minimizar, problemas de movimentação do núcleo dentro da cavidade. Além disso, a característica da rápida formação de uma camada de solidificação na frente de injeção (“*freeze-off*”) que cria um isolamento térmico durante o preenchimento, evita que o núcleo se derreta ou seja “lavado” durante o preenchimento da cavidade (é importante lembrar que a temperatura de fusão do material do núcleo é de cerca de 140° C e a temperatura de injeção desta resina é da ordem de 285° a 320° C).

O posicionamento dos canais de injeção também é um fator de suma importância para evitar o impacto direto do material fundido sobre o núcleo. A impactação direta na entrada do material fundido não é impossível, mas devem ser utilizadas taxas de preenchimento menores para se ter certeza de que se mantenha uma camada congelada aderida no lado oposto ao canal.

A localização e centragem do núcleo no molde também é crítica, sendo assim para minimizar a movimentação do núcleo é necessário que ocorra um “enclausuramento” do núcleo pela frente de injeção. Idealmente a pressão no fundido é distribuída uniformemente em todas as superfícies do núcleo, assegurando que fique centrado na ferramenta.

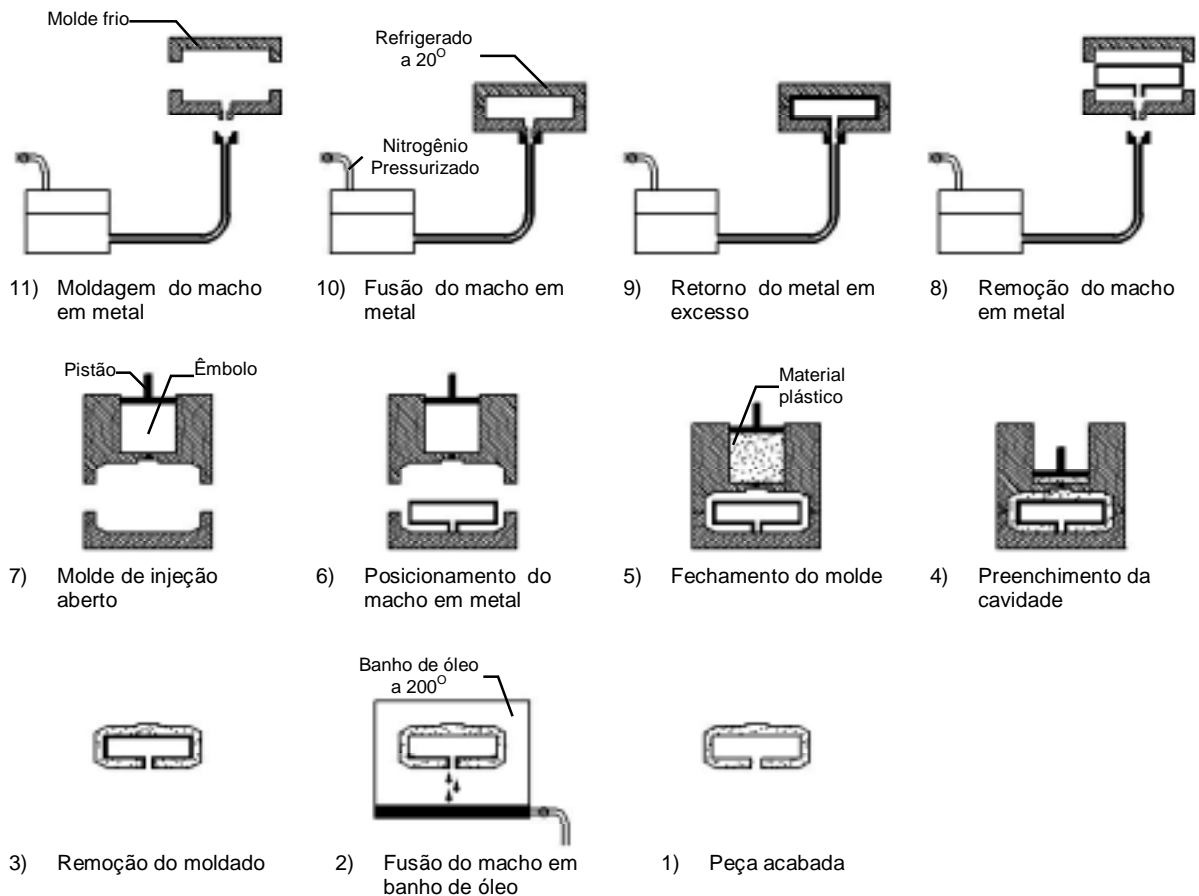


Figura 1 - Processo do Núcleo Perdido

Para a retirada do núcleo da peça, a mesma é colocada em um tanque para um banho aquecido a aproximadamente 175°C de propileno glicol ou algum líquido similar por cerca de uma hora. Durante este tempo no tanque a peça é movimentada, girada e recebe jatos direcionados do líquido aquecido para que todo o material do núcleo seja retirado. A liga líquida do núcleo se deposita no fundo do tanque e é bombeada novamente para a fabricação de novos núcleos.

3. Prototipagem rápida e o processo de estereolitografia

A fabricação de protótipos ou modelos data da antigüidade, onde eram utilizados como forma de comunicação, documentação e desenvolvimento de obras de engenharia.

Muitas técnicas artesanais ainda são utilizadas, porém sempre se mostram extremamente demoradas e trabalhosas e dependem basicamente da habilidade manual da pessoa que confecciona o modelo, mostrando pouca ou nenhuma repetibilidade.

Já no início da década de 80, com a proliferação dos sistemas CAE/CAD/CAM, começou a ser possível o uso de sistemas gráficos em computador para uma prototipagem virtual. Com isso passou a ser possível analisar aspectos de engenharia sem se dispor de um protótipo físico em mãos.

Utilizando os recursos disponíveis de sistemas computacionais associados ao CNC (Comando Numérico Computacional) se tornou possível a fabricação de protótipos físicos, por remoção de material, de maneira rápida, precisa e com boa repetibilidade.

Com o advento da usinagem de alta velocidade associado ao desenvolvimento de fresadoras CNC de cinco eixos e a utilização de modernos sistemas CAD/CAM para a

programação das trajetórias de usinagem, a fabricação de protótipos através de usinagem tem se mostrado ainda mais significativa. Porém, é limitada pelo fato de só poder remover o material que a ferramenta pode alcançar.

A prototipagem rápida, na forma de fabricação de objetos camada a camada, surgiu entre o fim da década de 80 e início da década de 90, como uma ferramenta capaz de proporcionar a integração dos envolvidos no processo de desenvolvimento de produto (Lafratta, 1997).

O processo de fabricação de protótipos camada a camada tem início no desenvolvimento de um modelo sólido em CAD. Este modelo é então “fatiado” em camadas que serão adicionadas sucessivamente uma sobre as outras para a obtenção da peça, através de processos diferentes.

Na bibliografia em geral estes processos são descritos de forma bastante detalhada, como é o caso dos trabalhos de Ferreira (1998) e Lafratta(1997).

O processo de Estereolitografia (SLA), merece destaque por estar hoje disponível no Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, e é baseado na polimerização de resinas fotocuráveis, através de laser ultravioleta.

A partir de um modelador CAD tridimensional a peça é projetada e este modelo é armazenado no formato STL. Em um programa específico para a máquina de estereolitografia este modelo é fatiado em finas camadas de espessura com valores entre 0,065 e 0,75 milímetros. É gerado um programa NC que definirá a trajetória do laser para a formação de cada camada do molde.

Na máquina de estereolitografia o processo se inicia pela submersão da plataforma móvel no reservatório que contém a resina fotocurável, a uma profundidade igual à da camada que será imediatamente construída.

O laser ultravioleta “varre” a área que deve ser solidificada nesta camada, fazendo assim com que a resina, através da polimerização, adquira consistência.

Terminada a varredura de uma camada, a plataforma submerge novamente no valor da próxima camada a ser construída e o laser inicia novamente, sua varredura e assim, camada a camada a peça vai sendo construída.

Quando todas as camadas da peça já estão prontas a plataforma emerge e, após a resina líquida ter escorrido, a peça é retirada da máquina e colocada em uma estufa com luz ultravioleta para o processo final de cura da resina. Por fim a peça pode receber um acabamento superficial, como polimento, jateamento com areia, com o objetivo de lhe atribuir diferentes aspectos visuais.

Se comparados o uso da tecnologia de fabricação por camada com o do fresamento CNC, que é considerado o “*Benchmark*” na fabricação de protótipos, pode-se indicar os seguintes aspectos positivos da primeira tecnologia:

- podem ser fabricadas peças com um grau de complexidade muito grande, inclusive com reentrâncias que não podem ser obtidas por remoção de material;
- a peça é fabricada em uma única etapa de processo, não sendo assim sujeita a erros de posicionamento ou necessidade de fabricação de dispositivos de fixação especiais;
- não há necessidade de geração de complexos e extensos programas de usinagem ou de troca de ferramentas para a fabricação dos detalhes da peça.

Como restrições da fabricação por camada podem ser citadas:

- custo da fabricação de protótipos ainda é elevado, se comparado com os métodos tradicionais, como a usinagem. O que limita a possibilidade da fabricação de lotes de peças para testes;
- em muitos casos não é possível construir a peça no material que foi projetado ou em um material similar em termos de propriedades mecânicas, limitando a aplicação;

- a precisão dimensional e de forma assim como o acabamento superficial, mesmo tendo evoluído muito, ainda deixa a desejar, principalmente se comparada com a que pode ser obtida na fabricação de protótipos com o fresamento em cinco eixos;
- normalmente são necessárias operações de acabamento e pós-processamento das peças, como a retirada de elementos necessários à sustentação de superfícies da peça, cura em forno, etc..
- muitos dos materiais utilizados estão sujeitos à distorção, empenamentos e ataque por elementos químicos, como a água, o que faz com que seu uso para testes em condições reais seja bastante limitado.

4. Processos de “*Rapid Tooling*” com estereolitografia

Com a evolução dos diversos métodos e materiais empregados para a obtenção de protótipos através da fabricação por camada, foram desenvolvidas técnicas para, dependendo da tecnologia utilizada para fabricação do protótipo, fabricar, ao invés de peças ou componentes, moldes (Pham, 1998) ou insertos de moldes, de maneira direta ou indireta. Deste modo as peças podem ser injetadas em condições muito parecidas com as que seriam utilizadas em uma ferramenta convencional definitiva, esta tecnologia é conhecida por “*Rapid Tooling*” – RT, permitindo-se assim obter peças com as mesmas características que o produto, ao invés de um protótipo “aproximado”.

Este desenvolvimento técnico permitiu solucionar dois problemas básicos da RP, quais sejam, o custo para a fabricação de múltiplos protótipos e a fabricação em material com características mais próximas das do material real.

De acordo com Arondon (Aronson, 1998), a literatura tem buscado classificar a RT em três classes: a dedicada à fabricação de uma dezena de peças, “*soft tooling*”, a dedicada a fabricação de uma centena de peças, “*bridge tooling*” e a dedicada a fabricação de milhares de peças, “*hard tooling*”. Para cada uma destas classes há várias tecnologias já desenvolvidas e patenteadas, normalmente pelos fabricantes das máquinas de RP, que são utilizadas na obtenção das ferramentas.

Duas técnicas de ferramentaria rápida vem sendo estudadas no CIMJECT - UFSC, em vista da disponibilidade de uma máquina de SLA, adquirida através do PRONEX, e serão descritas brevemente a seguir.

- “*Direct Aim*®”

Através da estereolitografia são produzidos insertos da cavidade e do macho. Esta técnica apresenta algumas limitações, principalmente durante a injeção dos materiais termoplásticos que podem necessitar de temperaturas de até 300° C e pressões elevadas para o preenchimento da cavidade do molde.

Por ter a resina uma condutividade térmica cerca de 300 vezes menor que os aços convencionais utilizados para a fabricação de cavidades, é necessário utilizar ciclos de injeção muito superiores aos normalmente utilizados.

Para auxiliar na troca de calor, na parte interna dos insertos são colocados tubos de cobre para a passagem de líquido refrigerante e o espaço vazio é preenchido com um material que possui boa condutividade térmica e resistência mecânica. Exemplos de materiais que podem ser utilizados são as resinas epoxi com alumínio ou ligas metálicas de baixo ponto de fusão como estanho/bismuto.

Após o preenchimento da parte interna do inserto, este deverá ser montado em um molde para a injeção das peças.

- “*Quick Cast*®”

A partir do modelo em CAD, é fabricado por estereolitografia um protótipo “oco” do inserto, em um formato especial, com uma estrutura interna similar a um favo de abelha. Este modelo é montado em uma árvore de cera que fará o papel de canal de alimentação e massalote. Em seguida esta árvore com o modelo é recoberta por várias camadas cerâmicas

para produzir uma casca. A cera e o modelo são queimados em um forno onde se dá a cura da casca, não sobrando resíduos no interior da casca.

A casca obtida é preenchida, em processo convencional de fundição, por metal líquido, que ao se solidificar tem a forma do inserto.

Neste processo é necessário realizar uma etapa de acabamento que consiste no ajuste e polimento do inserto, necessitando muitas vezes de operações com máquinas ferramentas para retirada de material em excesso e correção de empenamentos.

Pronto o inserto este é montado em um molde para a injeção de peças, como em um molde convencional.

5. Conclusão

A pesquisa sendo desenvolvida visa utilizar princípio do núcleo perdido, que se aplica principalmente a uma célula altamente automatizada, dedicada à fabricação de uma grande série de coletores pode se uma alternativa, para a fabricação de pequenas séries ou produtos únicos, que necessitem de moldes com movimentação relativa de partes para a extração (gavetas), ou ainda para a fabricação de peças cuja extração do macho seria impossível.

Utilizando o processo “*Direct Aim*®” pode-se construir um molde de abertura simples (uma linha de partição) com o negativo da forma do produto que se deseja obter, tomando-se o cuidado de adicionar os pontos de apoio e “ancoragem” do núcleo metálico que dará forma às “reentrâncias” da peça. Após preencher a parte interna deste inserto com uma liga metálica de baixo ponto de fusão e grande condutividade térmica, este pode ser montado em um porta-moldes padrão para realizar a injeção das peças.

Com a técnica do “*Quick Cast*®” funde-se os diversos núcleos em uma liga de baixo ponto de fusão, posicionando-os a cada ciclo no interior do molde, como um inserto comum.

Durante a injeção além dos cuidados necessários para o uso da técnica do “*Direct Aim*®” também é necessário tomar os cuidados já citados para a técnica do núcleo perdido.

Os núcleos deverão ser retirados por imersão em banho aquecido em um reservatório com temperatura controlada, sendo movimentados individualmente com manipuladores manuais.

Sendo assim, com a utilização das metodologias para fabricação de peças que vêm sendo estudadas pelo nosso grupo, (“*Direct Aim*®” e “*Quick Cast*®”), é possível desenvolver ainda mais o campo da ferramentaria rápida, auxiliada pela fabricação por camada, permitindo que uma grande gama de peças, que necessitam de partes móveis do molde para a extração, possam vir a ser fabricadas rapidamente, em moldes de abertura simples (sem gavetas), a partir, basicamente, de um modelo computacional 3D e uma máquina de Estereolitografia.

O “*Direct Aim*®” e o “*Quick Cast*®” são marcas registradas da 3D Systems CA – USA.

Referências

BALTUS, Tom A., 1999, Simple description of the lost-core moulding process. Press Release. DuPont Canada.

BELOFSKY, H., 1995, Plastics: product design and process engineering. Hanser/Gardner. Munich; Viena; New York: Hanser; Cincinnati.

Complex hollow design? Consider metal core molding. Disponível na rede: em 30/06/1999 <http://www.coretechgroup.com/ct.html>.

FERREIRA, Aureo Campos; LAFRATTA, Fernando Humel., Setembro de 1998. Conheça alguns meios para a obtenção de protótipos de peças injetadas. Plástico Industrial. p. 24-30.

Fusible core injection molding. Disponível na rede: em 30/06/1999, http://www.scudc.scu.edu/cmdoc/dg_doc/process/molding

- LAFRATTA, Fernando Humel, (1997); Avaliação da viabilidade do uso de líquidos refrigerantes sobre alta pressão no processo de injeção de termoplásticos utilizando técnicas de “*Rapid Tooling*”. Proposta de Tese, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.
- Spinwheels, factory tour, of the advanced technology. Disponível na rede: em 30/06/1999 <http://spinwheels.com/factour.html>.
- Pham, D. T., 1998; Techniques for firm tooling using rapid prototyping; Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part B, Journal of Engineering Manufacture [H.W. Wilson – AST]; Vol. 212, Iss. B4; pg 269.
- Anônimo; 21 de julho de 1999; The rapid development of rapid development technologies, Professional Engineering, Bury St. Edmunds; Vol. 12, Iss. 14; pg. 24. 2 pgs.
- Aronson, Robert B., Nov. 1998, Toolmaking through rapid prototyping; Manufacturing Engineering, Dearborn; Vol. 121, Iss. 5; pg. 52, 4 pgs.
- PÖTSCH, G.; MICHAELI, W., 1995, Injection molding: an introduction. Munich; Viena; New York: Hanser; Cincinnati: Hanser/Gardner,.